

Таким образом, наш эксперимент позволяет реально измерить индуктивность зажжённой лампы. Нами получены значения индуктивности при разных токах дежурной дуги, которые существенно больше, чем значения, полученные теоретическими вычислениями почти на два порядка.

Результаты, полученные в этой работе, требуют дальнейших экспериментальных исследований и теоретических обоснований полученных результатов, что планируется выполнить авторами в ближайшее время.

Список публикаций:

- [1] А.Г.Орешко. Доменная модель аномального сопротивления плазмы. Вопросы атомной науки и техники, серия: Плазменная электроника и новые методы ускорения, 2000, №1, стр.13-16.
 [2] С.С. Ануфрик, А.П. Володенков, К.Ф. Зноско Зависимость сопротивления плазмы от времени в электроразрядных эксимерных лазерах. <http://elib.bsu.by/handle/123456789/31723>
 [3] Импульсные источники света/ под общей редакцией И.С. Маршака, 2 изд. М.: Энергия, 1978. 478с.
 [4] Н.Кролл, А. Трайвелтис. Основы физики плазмы. М.: Издательство «МИР» 1975, 525стр.
 [5] А.А. Рухадзе, А.Ф. Александров Физика сильнооточных электроразрядных источников света Изд.2.М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.-184стр.

Формирование многоканального пробоя в электроразрядных технологиях бурения

Петренко Евгений Владимирович

Юдин Артем Сергеевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Юдин А. С. к.т.н.

evgenius293@mail.ru

Эффект внедрения разряда в твердый диэлектрик, находящийся под слоем жидкости был открыт в середине XX века. [1]. На его основе предложены и разработаны такие электроразрядные технологии разрушения и модификации материалов, как бурение, резание, снятие поверхностного слоя и дробление. Анализ публикаций в мире по теме электроразрядного разрушения показывает, что на сегодняшний день интерес к электроразрядным технологиям обработки материалов, таким как бурение или дробление стремительно возрастает [2-4].

Данная работа была посвящена исследованию организации пробоя горных пород, находящихся в жидкой среде, путем формирования в них каналов разряда одновременно в нескольких межэлектродных промежутках за один импульс напряжения – многоканальному пробую. Были получены экспериментальные данные по пробую песчаника в воде и гранита в трансформаторном масле при различной индуктивности электродов.

Индуктивность изменялась за счет двух вариантов подключения электродов к выходу генератора импульсных напряжений. В первом варианте для обеспечения разделения индуктивностей электродов, каждый электрод был подключен независимым проводником длиной 1,5 м. Во втором варианте для уменьшения индуктивности отдельных электродов, проводники были объединены в точке подключения к электродной системе. Электроды на образцах размещались в трех различных положениях согласно схеме приведенной на рисунке 1. В каждом положении было подано по одному импульсу напряжения. Для варианта с отдельными проводниками в первом положении произошел откол в третьем и пятом межэлектродном промежутке (Рисунок 2а). Во втором и третьем положении обнаружено внедрение в первом, третьем и пятом промежутках. Данные эксперимента приведены в таблице 1. Для варианта с объединенными проводниками в первом положении произошел откол в центральном промежутке, в первом и пятом – внедрение (Рисунок 2б). Во втором положении – откол снова произошел в третьем промежутке, а в пятом промежутке – внедрение. В третьем положении – откол в двух промежутках

Таблица 1 –Данные экспериментов по пробую песчаника при разной индуктивности электродов

Номер положения	Раздельные проводники				Объединенные проводники			
	U _з (кВ)	U _{а+} (кВ)	U _а (кВ)	Объем, мм ³	U _з (кВ)	U _{а+} (кВ)	U _а (кВ)	Объем, мм ³
1	35,2	128,4	117	0,8	36,1	99,7	112,5	1,3
2	35,2	139,8	121,6	0,2	36,1	111	109,4	0,5
3	36,1	129,2	136,8	0,2	36,1	149	109,4	2,3

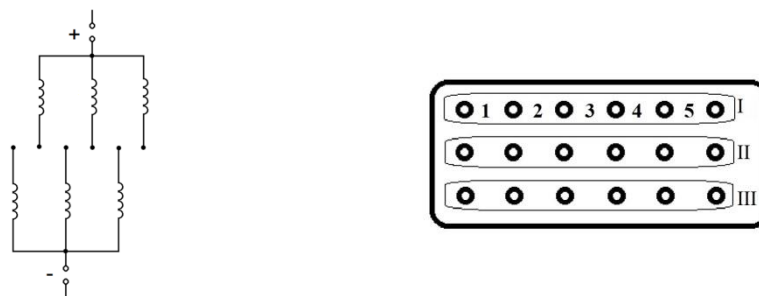


рис.1 – Положение электродов на образце.
1,2,3,4,5 – номера межэлектродных промежутков; I, II, III – положение электродов.

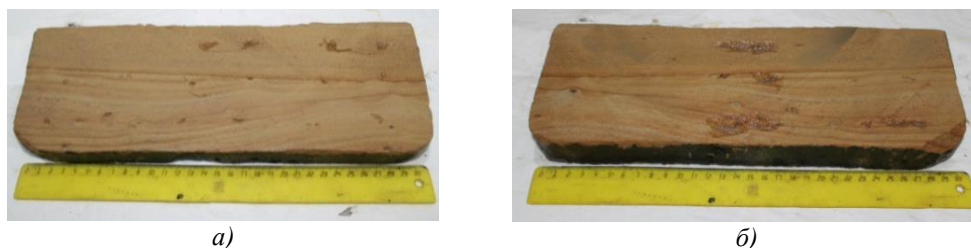


рис. 2 – Внешний вид образцов песчаника после подачи импульсов напряжения с разным местоположением электродов: а) Раздельная индуктивность; б) Объединенная индуктивность.

По результатам экспериментов установлена возможность осуществления пробоя горной породы в нескольких межэлектродных промежутках за один импульс в среде трансформаторного масла и технической воды. В опытах с песчаником при раздельной индуктивности электродов энергия электроимпульсного разряда распределяется примерно одинаково между всеми электродными промежутками, поэтому объем отколотого материала между ними примерно одинаковый. При объединении индуктивностей большая часть энергии проходит через какой-то один промежуток, поэтому объем отколотого материала в одном из этих промежутков значительно превосходит остальные. Общий объем отколотого материала в обоих опытах (песчаник и гранит) между промежутками при объединенной индуктивности больше ($4,1 \text{ мм}^3$ - пробой песчаника; $3,8 \text{ мм}^3$ - пробой гранита), чем при раздельной индуктивности ($1,2 \text{ мм}^3$ - пробой песчаника; $1,45 \text{ мм}^3$ - пробой гранита). Можно сделать вывод, что чем больше индуктивность проводов, соединяющих электроды с батареей конденсаторов, тем больше вероятность осуществить многоканальный пробой. В опытах с песчаником в воде для осуществления многоканального пробоя было достаточно $U_{\text{зар}} = 36 \text{ кВ}$, в то время как в опытах с гранитом в воде прикладывалось большее напряжение ($U_{\text{зар}} = 46 \text{ кВ}$), при котором достичь многоканального пробоя не удалось. В опытах, проводимых с гранитом в загрязненном трансформаторном масле ($\epsilon = 40 \text{ кВ/мм}$) $U_{\text{зар}} = 36 \text{ кВ}$ было достаточно, чтобы произвести многоканальный пробой.

Было зафиксировано, что в каждом опыте возникало минимум два внедрения за импульс. Количество каналов в граните определялось путем визуального осмотра. В настоящее время обсуждаются дальнейшие эксперименты по определению степени влияния каждого из факторов, а именно: полярность импульса, запас энергии в импульсе, фронт импульса. Подбор оптимальных параметров вышеприведенных факторов может приблизить технологию к промышленным масштабам в таких направлениях как глубокое и сверхглубокое бурение скважин геотермальной энергетики и бурение скважин в условиях Арктики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90071

Список публикаций

- [1] Воробьев А.А., Воробьев Г.А., Чепиков А.Т. Закономерности пробоя твердого диэлектрика на границе раздела с жидким диэлектриком при действии импульса напряжения // Свидетельство на открытие. Диплом №107, 27.07.1999 с приоритетом от 14.12.1961
- [2] Ushakov V.Ya., Vazhov V.F., Zinoviev N.T. *Electro-Discharge Technology for Drilling Wells and Concrete Destruction*. Basel: Springer Nature Switzerland AG; 2019
- [3] Anders E., Voigt M., Lehmann F. *Electric Impulse Drilling: the future of drilling technology begins now*. ASME. International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Polar and Arctic Sciences and Technology; Petroleum Technology. 2017;8:V008T11A024. doi:10.1115/OMAEE2017-6110
- [4] D. Molchanov, V. Vazhov, I. Lavrinovich, V. Lavrinovich, N. Ratakhin Downhole generator based on a line pulse transformer for electro pulse drilling // 2017 IEEE 21st International Conference on Pulsed Power (PPC) Tomsk, 2017